

Diferencias espaciales y estacionales en el contenido de nutrientes, demanda de oxígeno y potencial redox en sedimentos bajo una instalación de producción acuícola en jaulas

Z. Hermosilla, C. Jorge, I. Romero, E. Martí y M.^a D. Cabañero

Grupo de Evaluación de Impacto Ambiental. Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia. Ciudad Politécnica de la Innovación. Camino de Vera, s/n. E-46022 Valencia, España. Correo electrónico: zuhergo@doctor.upv.es

Recibido en octubre de 2005. Aceptado en noviembre de 2005.

RESUMEN

En zonas templadas, como el Mediterráneo occidental, los impactos ambientales resultantes de la sedimentación de materia orgánica particulada en el fondo marino bajo las instalaciones de una explotación acuícola parecen estar determinados por factores como la producción, la batimetría, la época del año y la distancia a las dependencias. En este trabajo se evalúan las concentraciones de materia orgánica y de nutrientes y el potencial redox en los sedimentos de los fondos situados bajo las jaulas flotantes de una producción acuícola; los resultados permiten observar que en el transcurso de los meses de verano se producen aumentos en la concentración de nutrientes y en la demanda de oxígeno y un descenso del potencial redox.

Palabras clave: Sedimento, demanda de oxígeno disuelto, materia orgánica, nutrientes, potencial redox.

ABSTRACT

Seasonal and spatial variations of nutrient content, oxygen demand and redox potential in sediments under a floating cage fish farm

Most reviews on environmental impacts of fish farming have emphasised that the most widely known effect is benthic enrichment beneath the sea farms. Marine fish farming is increasing rapidly in the Mediterranean coastal zone. It is characterised by clear water with high transparency, microtidal, oligotrophic and nutrient-poor sediments. The present paper discusses the results obtained in the analysis of the sediments beneath and surrounding the sea farm.

Keywords: Sediment, biochemical oxygen demand, organic matter, nutrient, redox potential.

INTRODUCCIÓN

Diversos autores han puesto de manifiesto que el efecto ambiental más notorio de los relacionados con las instalaciones marinas de producción acuícola es el enriquecimiento bentónico

co bajo las mismas (Gowen y Bradbury, 1987; Gowen, 1991; Iawama, 1991; Wu, 1995; Karakassis, 2000). También se ha publicado la presencia de un aporte y floculación de materia orgánica bajo las instalaciones (Hall *et al.*, 1990; Angel, Krost y Gordin, 1995) comunmente denomina-

dos *fish farm sediment* (Holmer, 1991). Estos sedimentos se caracterizan por bajos valores de potencial redox (Hargrave *et al.*, 1993), altos contenidos de materia orgánica (Hall *et al.*, 1990; Holmer, 1991) y acumulación de compuestos de fósforo y nitrógeno (Holby y Hall, 1991; Hall *et al.*, 1992).

Estos impactos ambientales resultantes de la sedimentación de materia orgánica particulada en el fondo marino parecen estar determinados por factores como la batimetría, la dirección de la corriente, el rango mareal, las características de la propia instalación (volumen de producción, tipo de alimento de los peces, especies cultivadas, etc.) y las condiciones ambientales (Holmer, 2004). El área afectada por jaulas situadas en zonas abrigadas se extiende en un radio máximo de 50 m, alcanzando una extensión con un radio de hasta 100 metros para jaulas situadas en zonas más expuestas (Brooks y Manhken, 2003).

Holmer (2004) indica que las variaciones estacionales de los impactos en el bentos están fundamentalmente relacionadas con la producción piscícola y con las variaciones de temperatura. En general, en las zonas templadas, como la mediterránea, la actividad en las granjas marinas es mayor durante el verano. En esta época, el crecimiento de los individuos en las poblaciones de peces es mayor debido a que las altas temperaturas del agua aceleran su metabolismo, aumentando la actividad bacteriana tanto en la columna como en los sedimentos, y el impacto ambiental detectado también es más severo. Durante el invierno, la actividad en las granjas es casi inexistente, y el fondo marino bajo las jaulas, recupera condiciones similares a las iniciales en penetración de oxígeno en los sedimentos y en cuanto a poblaciones bentónicas (Holmer y Kristensen, 1996).

Los sedimentos acumulados en los fondos de ecosistemas acuáticos influyen sobre los ciclos de nutrientes en dichas zonas y, a su vez, afectan de manera directa a las comunidades bentónicas. La descomposición microbiana de la materia orgánica acumulada en los sedimentos marinos libera nutrientes al agua intersticial, que por procesos difusores o de advección, pueden ser reintroducidos en el agua que se encuentra

sobre ellos (Lyons, Loder y Murray, 1982). En el caso de que exista gran cantidad de materia orgánica, los niveles de O₂ pueden llegar a disminuir de forma excesiva, quedando los sedimentos en estado anóxico. En este caso los valores obtenidos para el potencial redox se tornan negativos.

Por otro lado, la demanda de oxígeno del sedimento permite cuantificar de forma indirecta su cantidad de materia orgánica. El valor de esta variable puede estar influido tanto por la cantidad y calidad de materia orgánica como por la actividad de los microorganismos. Esta medida puede que sea mejor indicador de la materia orgánica, puesto que mide la actividad de transformación de la misma.

El objetivo principal de este trabajo es observar diferencias estacionales y espaciales en las concentraciones de materia orgánica, nutrientes y potencial redox en los fondos marinos bajo una instalación marina de producción acuícola.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los datos obtenidos pertenecen a modelados ambientales realizados casi mensualmente durante los años 2003 y 2004 en sedimentos bajo jaulas flotantes situadas en el Mediterráneo occidental. La instalación se dedica al cultivo de dorada *Sparus aurata* L., 1758, utilizando piensos cuyo tamaño es variable en función de la talla alcanzada por los individuos. La producción en los años de estudio ronda las 1 000 toneladas.

Las muestras son tomadas por buzos, se recogen en tubos de metacrilato, o *corer*, de 30 cm de altura y 6 cm de diámetro interno. La recogida de muestras se realiza en los sedimentos situados directamente bajo las jaulas flotantes y también en un punto de control situado a 500 m de distancia; en ambos puntos la profundidad es, aproximadamente, 25 m.

Las muestras se toman por triplicado cuando se realiza el estudio de la demanda de oxígeno del sedimento (DOS) o por duplicado si no se realiza. El estudio de la DOS y del perfil vertical del sedimento se realiza de manera puntual, sin que esté incluido en el programa de vigilancia

ambiental de este tipo de instalaciones. Para el estudio del perfil vertical del sedimento, la muestra se divide en tres fracciones: horizonte A (0-5 cm), horizonte B (5-10 cm) y horizonte C (10-15 cm). En cada una de las fracciones se determina la materia orgánica (MO), el fósforo total (PT) y el nitrógeno total (NT).

El potencial redox se mide en campo con un potenciómetro, introduciendo el electrodo en el agua intersticial del primer centímetro del sedimento.

La DOS se mide incubando en el laboratorio una muestra de sedimento en el *corer* en que se colectó, y por donde se hace circular un flujo cerrado de agua en el que se mide la concentración de oxígeno, según detallan Arocena y Conde (1999).

El contenido en MO se determinó con el método de calcinación a 600 °C con eliminación de carbonatos (Arocena y Conde, 1999; Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1994).

La determinación del NT y el PT en sedimentos se hizo adaptando el método de digestión desarrollado para agua por Valderrama (1981) y, posteriormente, las formas minerales se determinan con un autoanalizador de flujo continuo segmentado por aire (Alliance Instruments II). Los métodos usados son los descritos por Treguer y Le Corre (1975), teniendo en cuenta las consideraciones hechas por Parsons, Maita y Lalli (1984) y Kirkwood, Aminot y Pertillá (1991).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Analizando los valores mensuales de NT, PT, MO y potencial redox para dos puntos,

uno situado bajo las instalaciones de la granja marina y otro en un área próxima a las mismas (figura 1), podemos observar que los valores encontrados en el punto de control son menores que los registrados bajo la instalación en cualquier estación del año. La tabla I muestra las medias y los coeficientes de variación para NT, PT, MO y potencial redox en sedimentos bajo la instalación y en el punto de control.

Estos resultados son acordes con lo obtenido por Karakassis, Tsapakis y Hatziyanni (1998) en un estudio de variabilidad estacional de sedimentos situados bajo instalaciones de cultivo marino en una zona mediterránea.

Como era predecible, según Holmer (2004), los resultados de las concentraciones de NT y PT y los contenidos de MO parecen ser superiores en los meses más cálidos. En la figura 1 se observa que las mayores diferencias se dan para PT y el potencial redox. Este aumento es consecuencia de un incremento en la cantidad de alimento añadida y no ingerida por los peces. En los meses cálidos, el crecimiento de los peces es mayor debido a que las altas temperaturas del agua aceleran su metabolismo y, por tanto, el requerimiento alimenticio es mayor. Este aumento en la cantidad de piensos incorporada y no ingerida significa más MO susceptible de ser remineralizada por acción microbiana, produciendo, no solo una demanda de oxígeno disuelto, también un flujo de nutrientes hacia la columna de agua. Además de la menor concentración de oxígeno disuelto debida a la mayor temperatura del agua, la estratificación vertical de ésta impide la penetración de oxígeno, alcanzándose condiciones de anoxia. En estas con-

Tabla I. Medias y coeficientes de variación (CV) para el nitrógeno total (NT), fósforo total (PT), materia orgánica (MO) y potencial redox en sedimentos bajo la instalación y en el punto de control.

Emplazamiento	Variable	Medias	CV
Instalación	NT (mg/kg seco)	195,75	184,94
	PT (mg/kg seco)	298,53	284,71
	Materia orgánica (%)	1,8	1,5
	Potencial redox (mV)	-138,7	212,2
Punto de control	NT (mg/kg seco)	91,41	110,41
	PT (mg/kg seco)	161,81	180,97
	Materia orgánica (%)	1,5	1,3
	Potencial redox (mV)	-43,1	80,2

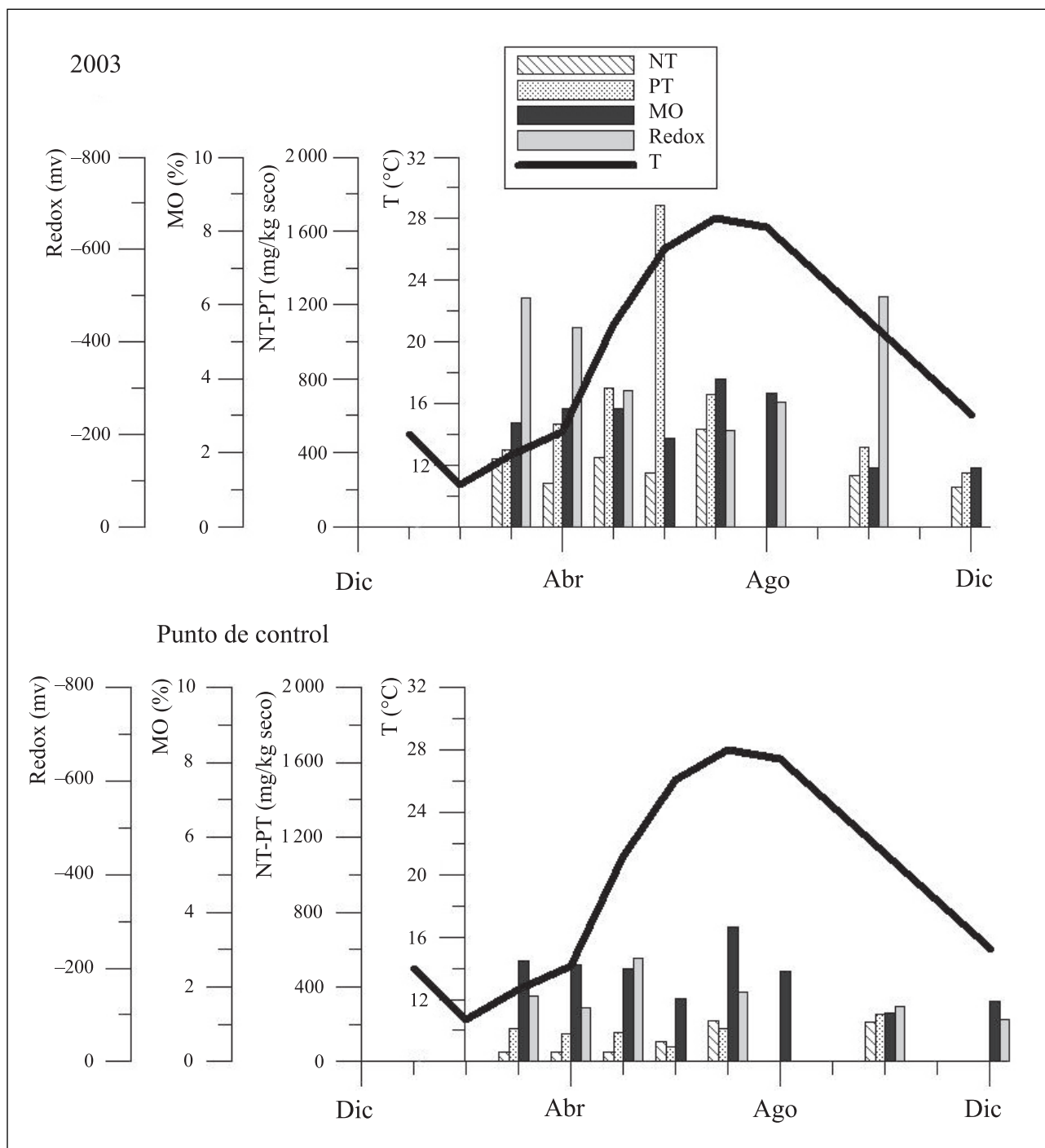


Figura 1. Valores mensuales de nitrógeno total (mg/kg seco), fósforo total (mg/kg seco), materia orgánica (%), potencial redox (mv) y temperatura (T) para sedimentos bajo la instalación y para los situados en el punto de control.

diciones, se registran valores de potencial redox más negativos en la instalación que en el punto de control.

En la figura 2 se muestran los resultados obtenidos en un muestreo puntual para MO y

DOS, y en la figura 3, los del análisis de los diferentes horizontes del sedimento para dos muestras de la misma granja marina, una obtenida bajo la instalación y otra en un área próxima.

El muestreo ha sido realizado en enero de 2004, fecha elegida por haber transcurrido, para entonces, un periodo prolongado de calma en el mar. Esto origina una estabilidad en la columna de agua que favorece el cúmulo bentónico por la ausencia de temporales.

En la figura 2 se observa cómo, entre las dos muestras, la DOS presenta diferencias más significativas que el contenido en MO. Como ya se ha comentado, la DOS permite valorar de forma indirecta la MO del sedimento, ya que este valor está influido tanto por la cantidad y la calidad de la misma como por la actividad de los microorganismos. Esta medida valora la actividad de transformación de la MO y, por ello, parece ser mejor indicador de ésta. La MO componente de los piensos tiene un mayor contenido proteínico en carbono y nitrógeno orgánico según Holmer (2004), y este mayor contenido parece estimular a la población microbiana (Hall *et al.*, 1990; Karakassis, 2000).

En el estudio del perfil vertical del sedimento (figura 3) se observa cómo la capa más superficial del punto situado bajo la instalación presenta elevados contenidos de PT, con diferencias más significativas en comparación con el punto de control que el NT y la MO. Por otro lado, las diferencias poco significativas en el contenido de MO reafirman los resultados obtenidos en el estudio de la DOS.

También en la figura 3 se observa cómo las capas inferiores (horizontes B y C) de la instalación presentan un contenido en nutrientes menor que las superficiales (horizonte A), que, incluso, son iguales o menores que las del punto de control. Esto puede ser debido a que, a pesar de que el funcionamiento de las instalaciones acuícolas pueda estar provocando la acumulación de MO en los sedimentos, el eminente carácter biodegradable de ésta (Holmer, 2004) explica esas mínimas diferencias. Los resultados mostrados coinciden con los descritos por Karakassis, Tsapakis y Hatziyanni (1998).

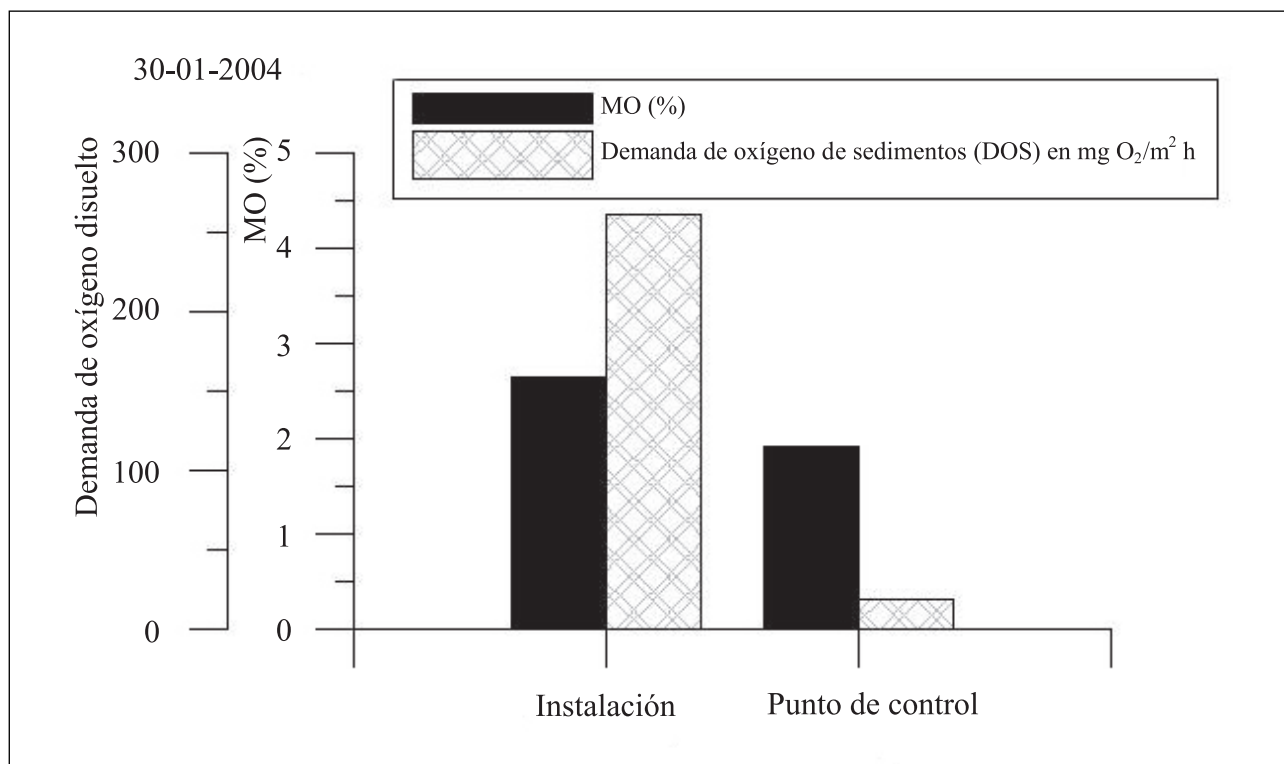


Figura 2. Resultados obtenidos para la materia orgánica y la demanda de oxígeno del sedimento en dos muestras una situada bajo la instalación y otra en el punto de control.

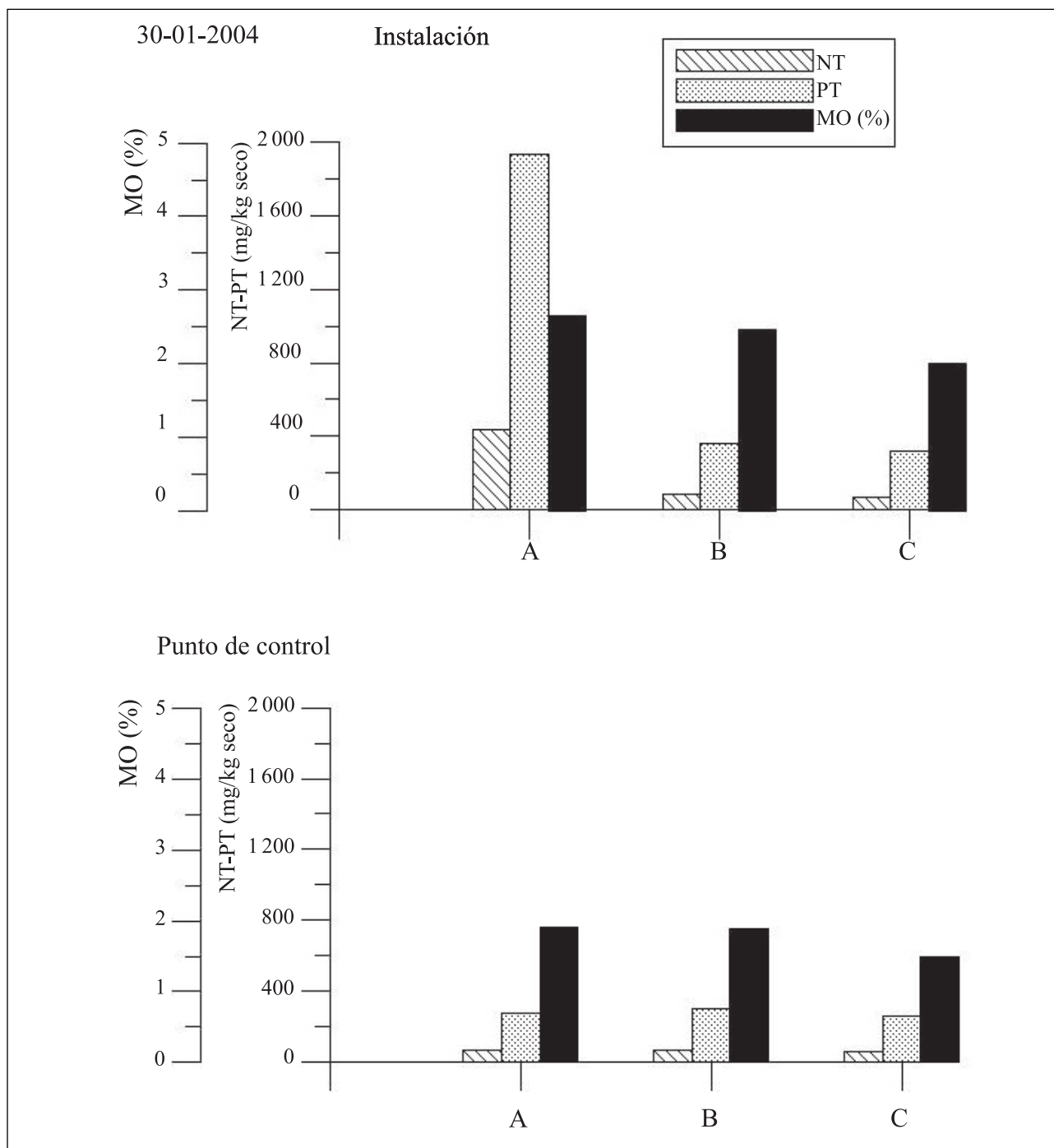


Figura 3. Estudio del perfil vertical del sedimento. Resultados obtenidos del NT, PT y MO para los horizontes A, B y C en dos muestras: una situada bajo las instalaciones y otra en un área próxima.

BIBLIOGRAFÍA

Angel, D. L., P. Krost. y H. Gordin. 1995. Benthic implications of the net cage aquaculture in the oligotrophic Gulf of Aqaba. En: *Improving the Knowledge Base in Modern Aquaculture*. H. Rosenthal, B. Moav y H. Gordin. (eds.). *European Aquaculture Society Special Publication* 25: 129-173.

Arocena R. y D. Conde (eds.). 1999. *Métodos en ecología de aguas continentales con ejemplos de Limnología en Uruguay*. División de Relaciones y Actividades Culturales (Dirac), Facultad de Ciencias, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay: 233 pp.

Brooks, K. M. y C. V. W. Mahnken. 2003. Interactions of Atlantic salmon in the pacific northwest environment II. Organic wastes. *Fisheries Research* 62: 255-293.

- Gowen, R. J. 1991. Aquaculture and environment. En: *Aquaculture and environment*. N. de Pauw y J. Joyce (eds.). *European Aquaculture Society Special Publication* 16: 23-48.
- Gowen, R. J. y N. B. Bradbury. 1987. The ecological impact of the salmonid farming in coastal waters. A review. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 25: 563-575.
- Hall, P. O. J., L. G. Anderson, O. Holby, S. Kollberg y M. O. Samuelsson. 1990. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. I. Carbon. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 61: 61-73.
- Hall, P. O. J., O. Holby, S. Kollberg y M. O. Samuelsson. 1992. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. IV. Nitrogen. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 89: 81-91.
- Hargrave, B. T., D. E. Duplisea, E. Pfeiffer y D. J. Wildish. 1993. Seasonal changes in benthic fluxes of dissolved oxygen and ammonium associated with marine cultured Atlantic salmon. *Marine Ecology Progress Series* 96: 249-257.
- Holby, O. y P. O. J. Hall. 1991. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. II. Phosphorus. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 70: 263-272.
- Holmer, M. 1991. Impacts of aquaculture on surrounding sediment: Generation of organic-rich sediments. En: *Aquaculture and the environment*. N. de Pauw y J. Joyce. (eds.). *European Aquaculture Society Special Publication* 16: 155-175.
- Holmer, M. 2004. Maricultures and eutrophication. En: *Drainage basin nutrient inputs and eutrophication: an integrated approach*. K. Olli y P. Wassmann (eds.): 186-194. Institute of Botany and Ecology. Universidad de Tartu. Finlandia. <http://www.ut.ee/~olli/eutr/>
- Holmer, M. y E. Kristensen. 1996. Seasonality of sulphate reduction and pore water solutes in a marine fish farm sediment: the importance of temperature and sedimentary organic matter. *Biogeochemistry* 32: 15-39.
- Iawama, G. I. 1991. Interactions between aquaculture and the environment. *Crit. Rev. Environ. Control* 21: 177-216.
- Karakassis, I. 2000 Ecological effects of fish farming in the Mediterranean. En: *Environmental impact assessment of Mediterranean aquaculture farms* (Cahiers Options Méditerranéennes) 55: 15-22.
- Karakassis, I., M. Tsapakis y E. Hatzilyanni. 1998. Seasonal variability in sediment profiles beneath fish farm cages in the Mediterranean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 162: 243-252.
- Kirkwood, D., A. Aminot y M. Pertillá. 1991. Report on the results of the fourth intercomparison exercise for nutrients in sea water. *ICES Cooperative Research Report* 174: 86 pp. ICES. Copenhagen.
- Lyons, W. B., T. C. Loder y S. M. Murray. 1982. Nutrient pore water chemistry, Great Bay, New Hampshire: benthic Fluxes. *Estuaries* 5 (3): 230-233.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 1994. *Métodos oficiales de análisis. Tomo III*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid: 53-54.
- Parsons, T. R., Y. Maita y C. M. Lalli. 1984. *A manual of chemical and biological methods for seawater analysis*. Pergamon Press. Londres : 354 pp.
- Treguer, P. y P. Le Corre. 1975. *Manuel d'analyse des nutriments dans l'eau de mer*. Universidad de Bretagne Occidental. Brest, Francia: 110 pp.
- Valderrama, J. C. 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Marine Chemistry* 10: 109-122.
- Wu, R. S. S. 1995. The environmental impact of marine fish culture: towards a sustainable future. *Mar. Pollut. Bull.* 31: 159-166.